

**CONFÉDÉRATION SUISSE**  
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪ CH 670 785 A5  
⑤ Int. Cl. 4: B 23 H 1/08

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

**⑫ FASCICULE DU BREVET A5**

⑯ Numéro de la demande: 1289/87

⑬ Titulaire(s):  
Charmilles Technologies S.A., Genève 13

⑭ Date de dépôt: 03.04.1987

⑭ Inventeur(s):  
Frei, Charles, Onex

⑮ Brevet délivré le: 14.07.1989

⑯ Mandataire:  
Christiane Hugelin, Meyrin 1

**⑰ Liquide pour usinage EDM.**

⑲ Le liquide d'usinage pour électroérosion est constitué par une dispersion stable et homogène de lamelles conductrices ou semi-conductrices dans un liquide diélectrique. Ces lamelles sont en métal ou en graphite. Leur diamètre moyen varie de préférence entre 10 nanomètres et 50 microns. La dispersion peut contenir un agent tensioactif ou électrolytique.

## REVENDICATIONS

1. Liquide d'usinage pour électroérosion, caractérisé par le fait qu'il est constitué par une dispersion stable et homogène de lamelles conductrices ou semi-conductrices dans un liquide diélectrique.
2. Liquide selon la revendication 1, contenant les lamelles à raison d'une concentration variant entre  $10^{-4}$  et 0,1% en volume, de préférence de  $10^{-3}$  à  $10^{-2}\%$  en volume.
3. Liquide selon la revendication 1, dans lequel les lamelles sont en métal, de préférence en aluminium, en cuivre, en étain, en argent, en zinc ou en un alliage contenant l'un de ces métaux.
4. Liquide selon la revendication 1, dans lequel les lamelles sont en graphite.
5. Liquide selon la revendication 1, dans lequel le liquide diélectrique est de l'eau déionisée.
6. Liquide selon la revendication 1, dans lequel le liquide diélectrique est une huile, tels un hydrocarbure, un mélange d'hydrocarbures ou une huile de silicone.
7. Liquide selon la revendication 1, dans lequel le liquide diélectrique est un mélange aqueux contenant au moins un polyalcool.
8. Liquide selon la revendication 1, contenant en outre au moins un additif, de préférence un agent tensioactif et/ou un agent anticorrosion.
9. Liquide selon la revendication 8, dans lequel cet additif est un agent tensioactif ou électrolytique apte à maintenir les lamelles à l'état dispersé.
10. Liquide selon la revendication 1, dans lequel les lamelles présentent un diamètre moyen variant de 10 nanomètres à 50 microns, de préférence de 0,1 à 5 microns.
11. Liquide selon la revendication 1, dans lequel les lamelles sont à l'état de dispersion colloïdale.
12. Procédé de fabrication d'un liquide d'usinage selon la revendication 1, caractérisé par l'addition à un liquide diélectrique d'une poudre, d'une pâte, ou d'un autre liquide contenant des lamelles conductrices ou semi-conductrices, tandis qu'on réalise une agitation suffisante pour obtenir une dispersion stable et homogène.
13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel l'agitation est réalisée avec des ultrasons.
14. Procédé selon la revendication 12, dans lequel l'agitation est réalisée par un dispositif mécanique.
15. Machine à usiner par électroérosion utilisant un liquide d'usinage selon la revendication 1 et comportant un dispositif agencé pour déterminer la concentration en particules conductrices dans le liquide d'usinage et pour suivre son évolution au cours de l'usinage.
16. Machine selon la revendication 15, présentant un mécanisme permettant de maintenir une agitation au sein du liquide d'usinage de manière à homogénéiser la dispersion des lamelles de façon continue au cours de l'usinage.
17. Machine selon la revendication 15, présentant un circuit destiné à asservir la concentration en particules conductrices à la variation d'au moins un paramètre d'usinage.
18. Machine selon la revendication 15, présentant des moyens pour fabriquer des lamelles conductrices ou semi-conductrices au sein même du liquide diélectrique et pour les disperser dans ce dernier grâce à un dispositif intégré à son circuit d'alimentation en liquide d'usinage.

## DESCRIPTION

La présente invention a trait à un liquide pour usinage par électroérosion, à l'un de ses procédés de fabrication et à son utilisation en usinage EDM.

En électroérosion, il est connu, par exemple d'après les brevets suisses CH 346 953 ou 536 680, que la présence dans le liquide d'usinage de particules solides et conductrices, telles des particules de carbone ou de métal comme l'aluminium ou le cuivre, joue un rôle

important dans l'amorçage des décharges. Ces particules peuvent également provenir des débris des électrodes dus à l'érosion ou de la décomposition du diélectrique. Leur concentration varie au cours de l'usinage, cela d'autant plus que la circulation du diélectrique et donc l'évacuation du diélectrique pollué, plus ou moins emprisonné dans la fente d'usinage séparant les deux électrodes, sont souvent difficiles.

Par ailleurs, il est également connu qu'à partir d'une certaine concentration, la présence de ces particules favorise le rendement de l'érosion, et qu'il est souhaitable de maintenir une certaine concentration en particules conductrices tout au long de l'usinage en évitant un débit de liquide d'usinage trop élevé.

Un liquide diélectrique facilitant le réglage de certains paramètres d'usinage, en particulier celui du débit du liquide d'usinage, a été décrit dans le brevet suisse 627 393. Il s'agit d'une suspension stable de particules solides et conductrices ou semi-conductrices, de granulométrie inférieure ou égale à 5 µm. Ce liquide permet en particulier de choisir une distance interélectrodes (encore appelée ici «gap» ou fente d'usinage) plus importante, ce qui diminue les risques de court-circuit, améliore la régularité de la circulation du diélectrique ainsi que la vitesse de refroidissement et augmente donc la stabilité de l'usinage.

Cette amélioration de la circulation du diélectrique permet également une bonne homogénéisation de la suspension et par suite une répartition régulière des décharges, ainsi qu'un amorçage uniforme de ces dernières, ce qui augmente la stabilité des conditions d'amorçage (temps d'attente  $t_a$ ) améliore l'état de la surface usinée et diminue les contraintes mécaniques et par suite les risques de déformation ou de rupture pour les électrodes. Comme le délai d'amorçage des étincelles érosives diminue, les temps morts, et par suite le rendement et la vitesse d'usinage (en particulier la quantité de matière érodée par unité de temps) augmentent.

D'après ce brevet suisse 627 393, la qualité du diélectrique dépend de la concentration, de la composition, de la forme et des dimensions des particules suspendues dans le liquide. Ces particules sont de préférence constituées par un métal ou par de la poudre de graphite en suspension dans un diélectrique usuel tel que l'eau ou un mélange d'hydrocarbures. Les meilleurs résultats étaient obtenus avec des particules solides de forme irrégulière présentant un grand nombre d'aspérités.

Or, des travaux de recherche ultérieurs, menés sur des particules de formes variées (sphéroïdales, compactes à arêtes vives, compactes à bords arrondis, peu compactes et poreuses, aciculaires, c'est-à-dire dont une dimension est très grande par rapport aux autres, etc.) ont montré que des résultats encore plus satisfaisants étaient obtenus avec des particules pelliculaires ou lamellaires, c'est-à-dire dont l'une des dimensions est faible par rapport aux autres. Elles sont constituées par des feuillets ou fines lamelles ou paillettes. Sur leur image obtenue au microscope électronique à balayage, elles apparaissent comme des morceaux de feuilles minces, déchirées selon des contours accidentés et froissées et chiffonnées. Il s'agit de particules présentant sur une partie importante de leur surface un rayon de courbure très faible par rapport à la taille de ces particules. De plus, il semble que la qualité de ces résultats est indépendante de la régularité de leur forme (arrondie, allongée en forme de ruban, avec des bords réguliers ou dentelés, déchiquetés ou feuilletés, etc.) ainsi que de la rugosité ou des aspérités de leur surface. Leur souplesse leur permet de s'incurver et de prendre toutes sortes de formes au sein du liquide dans lequel elles sont dispersées.

Ces travaux ont également mis en évidence que, contrairement à ce qui était admis dans l'état de la technique, la granulométrie, c'est-à-dire la dimension des particules, n'a, de façon tout à fait surprenante, que peu d'influence sur le délai d'amorçage des étincelles.

L'objet de la présente invention est donc un liquide d'usinage diélectrique, constitué par une dispersion stable et homogène de lamelles conductrices ou semi-conductrices dans un liquide diélectrique. La plus grande dimension de ces lamelles peut atteindre plusieurs dizaines de microns, tandis que leur épaisseur peut être de

l'ordre de quelques nanomètres seulement. Elles présentent un «diamètre moyen» pouvant aller de 0,001 à 50 microns, de préférence de 0,1 à 5 microns. Par «diamètre moyen», on entend la moyenne de la plus grande des trois dimensions de ces lamelles.

Pour certaines applications, il peut être avantageux d'utiliser des suspensions ou dispersions de type colloïdal, c'est-à-dire dont la granulométrie est inférieure au micron, en particulier afin de simplifier les manipulations et le recyclage du liquide d'usinage.

La concentration des ces lamelles dans le diélectrique peut varier entre  $10^{-4}$  et 0,1% en volume, de préférence entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}\%$  en volume. Les lamelles utilisées sont constituées de préférence par des métaux bons conducteurs de l'électricité, tels l'aluminium, le cuivre, le fer. De bons résultats peuvent également être obtenus avec les poudres de certains métalloïdes comme le graphite. Citons également l'argent, la magnésium, le cobalt, le nickel, le zinc, la cadmium, le molybdène. Il peut être avantageux d'utiliser un métal à bas point de vaporisation, par exemple l'indium, le magnésium, le cadmium, le zinc (déjà cité), l'étain ou le plomb (malgré leur toxicité) et aussi le bismuth, bien qu'il soit le moins conducteur des métaux. On peut également utiliser des alliages comme le laiton, certains aciers ou bronzes, ou encore certains semi-conducteurs comme le sulfure de molybdène  $\text{MoS}_2$ .

Comme liquide diélectrique, on peut utiliser de l'eau, de préférence déionisée, un hydrocarbure ou un mélange d'hydrocarbures, comme du kérozène ou certains mélanges proposés dans le commerce, tel celui commercialisé par ELF sous la dénomination Flux ELF 1 et 2, par BP sous la référence BP 180, BP 200 ou BP 250, par Avia sous le nom Avia I.M.E. 82, I.M.E 110 ou O.H.E, par Esso sous la référence Mentor 28, Somentor 43 ou Univolt 54, par Shell sous le nom Shell Sol K ou Shell Fluid S 9608, ou encore Castrol Honilo 401, Fuchs Ratak PE, etc., ou une huile minérale, ou une huile de silicium comme le Dow Corning 200 Fluid ou des polyalcoolols comme la glycérine ou l'éthylèneglycol et ses dérivés, en mélange par exemple avec de l'eau.

Ces divers types de liquides peuvent être mélangés entre eux, par exemple une émulsion d'hydrocarbures dans l'eau. Les critères, dont il faut tenir compte pour choisir ce liquide, sont:

- bonne stabilité et homogénéité de la dispersion,
- déionisation rapide,
- faible viscosité,
- absence de toxicité,
- point d'inflammabilité élevé,
- bonne filtrabilité,
- peu de réactivité chimique,

en particulier avec les résines échangeuses d'ions éventuellement utilisées pour régénérer le diélectrique dans le cas d'un diélectrique aqueux ainsi que toute autre propriété simplifiant la manipulation et la régénération du liquide d'usinage, ainsi que favorisant le refroidissement des électrodes au cours de l'usinage. De plus, il doit pouvoir être de préférence transparent, afin que l'opérateur puisse suivre le travail, doit être mis en contact aussi bien avec des métaux ferreux que non ferreux et ne doit pas faire de mousse.

Les dispersions selon la présente invention peuvent contenir également un ou plusieurs additifs, tels ceux utilisés usuellement pour les liquides d'usinage diélectriques.

Il peut s'agir, en particulier, d'agents antirouille ou anticorrosions comme du 1,1,1-tri(hydroxyméthyl)éthane, ou des alcanolamines ou certains de leurs dérivés comme des borates, des phosphates ou leurs sels avec des acides gras ou des acides arylsulfonamidocarboxyliques ou comme d'autres savons, éventuellement additionnés de dérivés métalliques solubles dans l'eau comme des hydroxydes, des borates, nitrates, nitrites, sulfates ou oxydes. On peut aussi ajouter au liquide diélectrique des agents tensioactifs ou surfactants, de préférence non ioniques, dont certains peuvent avoir un effet stabilisant et homogénéisant sur la dispersion de la présente invention, ou favoriser la dispersion dans le diélectrique des débris arrachés aux électrodes par électroérosion, ce qui leur évite de se recoller aux parois de la fente usinée. Certains, comme les savons, peuvent

également jouer le rôle d'agents anticorrosions et améliorer l'aspect brillant des surfaces découpées. Citons en particulier les sels de triéthanolamine et d'acides gras comme l'acide oléique, palmitique ou stéarique. De bons résultats peuvent être obtenus aussi avec la diéthyléthanolamine, l'aminoéthyléthanolamine, la triisopropanolamine, par exemple. Lorsque le diélectrique est un mélange d'hydrocarbures et d'eau, par exemple, ils peuvent aussi jouer le rôle d'un émulsifiant.

Dans le cas d'un liquide à base d'eau, il peut s'agir aussi d'un modificateur de conductivité apte à éléver la résistivité spécifique de l'eau déionisée. Il peut être avantageux d'ajouter certaines graisses et des hydrates de carbone comme des sucres, ainsi que des produits empêchant l'apparition de boues, tel le cyclohexynol en particulier.

La teneur des divers additifs devra évidemment être telle qu'elle n'augmente pas sensiblement la conductivité du liquide d'usinage.

La présente invention a également pour objet un procédé de fabrication d'une telle dispersion diélectrique, ainsi qu'un moyen pour le mettre en œuvre. Ce procédé est caractérisé par le fait qu'on ajoute à un liquide diélectrique une poudre, une pâte ou un autre liquide contenant des lamelles conductrices ou semi-conductrices et qu'on réalise une agitation suffisante pour obtenir une dispersion stable et homogène.

On peut ainsi ajouter une poudre conductrice ou semi-conductrice à un liquide isolant, contenant éventuellement un tensioactif, tandis qu'on maintient par tout moyen connu une agitation efficace, la quantité de poudre correspondant à une concentration prédéterminée. On peut également mesurer l'augmentation de la concentration en particules conductrices au cours de l'addition de la poudre et arrêter cette dernière lorsqu'une valeur donnée est atteinte ou régler cette addition par un circuit d'asservissement. Comme moyen d'agitation efficace, citons en particulier les ultrasons. Au lieu d'ajouter une poudre au liquide diélectrique, on peut lui ajouter une pâte contenant une forte teneur en lamelles conductrices, éventuellement mélangées à un liant tensioactif, ou bien additionner par exemple à ce liquide diélectrique, éventuellement goutte à goutte, une phase liquide très concentrée en lamelles conductrices.

Par ailleurs, comme la contamination du liquide d'usinage augmente en général au cours de l'usinage par suite de la dispersion de débris conducteurs dus à cet usinage, il peut être avantageux d'ajuster de façon continue la concentration des particules conductrices au cours de cet usinage, éventuellement après une filtration.

Ainsi, on peut prévoir un dispositif tel que celui décrit dans le brevet suisse 536 680 par exemple, dans lequel le liquide d'usinage serait obtenu en mélangeant deux fluides différents, l'un exempt de lamelles conductrices, l'autre contenant une concentration donnée de ces lamelles. On règle automatiquement les proportions de ce mélange soit de sorte à modifier le taux de particules conductrices en fonction de la variation de certains paramètres d'usinage, soit afin de maintenir un taux constant.

On peut aussi disposer une trémie sur le trajet suivi par le liquide d'usinage, celle-ci distribuant les lamelles conductrices directement dans le diélectrique, comme décrit par exemple dans les demandes de brevet japonaises publiées sous les numéros 48-52098, 55-43849 ou 49-56294.

Comme mentionné ci-dessus, l'adjonction de lamelles conductrices au cours de l'usinage peut être réalisée de façon à maintenir la conductivité du diélectrique à une valeur constante prédéterminée, cela afin d'obtenir une bonne stabilité d'usinage. L'addition des lamelles peut également être réalisée de façon à moduler leur concentration en fonction par exemple d'un paramètre d'usinage comme le délai moyen d'amorçage ou le taux d'étincelles de bas niveau, comme décrit dans le brevet suisse 632 176 ou dans la demande européenne 281 512. Il est possible d'éviter cet ajustement continu de la teneur en particules conductrices en réglant de façon appropriée le débit du fluide d'usinage, par exemple en fonction de la quantité de matière enlevée.

La concentration des particules conductrices dans ce dernier peut être suivie par des moyens connus soit par voie optique, grâce à des

éléments photoconducteurs ou à des capteurs photométriques par exemple, soit par voie électrique, grâce à des mesures du délai d'amorçage par exemple.

Mentionnons également la possibilité de fabriquer les lamelles conductrices ou semi-conductrices directement dans le liquide d'usinage, par exemple grâce à un arc électrique immergé dans le liquide diélectrique et dont les électrodes sont constituées par le métal dont on veut préparer les lamelles.

Enfin, la présente invention a également pour objet une utilisation en usinage electroérosif par décharges électriques (usinage EDM) des dispersions décrites ci-dessus. Cette utilisation peut être réalisée aussi bien dans des machines à découper à fil électrode que dans des machines à électrode d'enfonçage.

Ces machines pourront être munies de dispositifs permettant de prévenir une éventuelle sédimentation des dispersions selon la présente invention, par exemple de dispositifs d'agitation aux ultrasons disposés dans le circuit d'alimentation et de renouvellement du liquide d'usinage.

Elles pourront également présenter un circuit asservissant la concentration des lamelles conductrices ou semi-conductrices dans le liquide d'usinage de la présente invention à la variation d'un ou de plusieurs paramètres d'usinage.

Les liquides d'usinage de la présente invention peuvent présenter un grand nombre de compositions, de modes de préparation et d'utilisations possibles. Seules certaines de ces possibilités seront décrites ci-dessous, à titre d'exemples, et à l'aide du dessin annexé.

La figure 1 schématisse la cellule de mesure utilisée pour déterminer les caractéristiques d'amorçage des liquides d'usinage selon l'invention.

La figure 2 est un diagramme représentant la variation de la tension ou différence de potentiel entre les électrodes en fonction du temps lors d'un usinage par décharges électriques electroérosives alimentées par des impulsions de tension rectangulaires.

La figure 3 représente la variation au cours du temps d'une valeur statistique moyenne du délai d'amorçage  $t_a$  réalisée sur 30 décharges environ pour des liquides d'usinage connus et pour les liquides de la présente invention.

La figure 4 représente la variation du logarithme de cette moyenne statistique du délai d'amorçage  $t_a$  en fonction de l'inverse de la distance interélectrodes  $g$ , (ou du champ électrique appliqué aux électrodes).

La figure 5 schématisse le montage sur une machine EDM d'un dispositif de réajustement de la concentration en lamelles conductrices dans le liquide d'usinage.

De nombreux types de poudres métalliques sont disponibles sur le marché, en particulier du fait de leur utilisation en métallurgie, pour la production de pièces par compression, avec ou sans frittage, ou par fusion (métallisation, brasures, pâtes à souder, etc.) ou de leur utilisation comme catalyseur ou en exothermie (oxycoupage, explosifs, pyrotechnie, aluminothermie, etc.) ou encore comme matériaux composites (moules de fonderie, plastiques renforcés) ou encore associés à des liants minéraux et organiques, comme constituants dans des encres d'imprimerie, des peintures, des enduits et des revêtements divers, etc.

Les poudres métalliques avec lesquelles ont été préparées les diverses dispersions utilisées pour les essais décrits ci-après sont commercialisées par la maison Baudier sous la marque Poudmet. Il s'agit de poudres composées de grains en forme de lamelles, grains constitués d'aluminium, de fer ou de cuivre. Elles ont été obtenues par des techniques de production appropriées à la formation de lamelles, telles, par exemple, la pulvérisation ou l'atomisation du métal, de façon à obtenir un nuage de particules métalliques, suivies d'une condensation sur une surface refroidie.

Les lamelles de graphite sont commercialisées par exemple par Lonza sous la référence K S 2,5, par Acheson Colloiden B.V. sous la dénomination DAG 386, ou encore vendues sous la dénomination «graphite de Madagascar».

Le liquide diélectrique utilisé pour disperser ces lamelles de métal ou de graphite est une huile paraffinique commercialisée par BP sous la dénomination BP 180.

Ces dispersions ont été comparées à des dispersions métalliques de types connus en réalisant des mesures du délai d'amorçage  $t_a$  en fonction du temps, de la distance interélectrodes ou de la concentration en particules conductrices. En effet, comme nous le rappelons plus loin, le délai d'amorçage  $t_a$  est un paramètre caractérisant de manière satisfaisante la qualité d'un liquide d'usinage pour électroérosion par décharges.

Un orifice relié à un dispositif approprié (non représenté) permet de vider et de nettoyer la cellule entre deux séries de mesure faisant intervenir des liquides différents.

Ces mesures ont été réalisées dans une cellule de mesure schématisée à la figure 1. Cette cellule est constituée par un cylindre de verre 1. Deux électrodes de cuivre en forme de rondelle cylindrique creuse, 2 et 3, peuvent être maintenues à une distance donnée  $g$  (ici  $g = 60 \mu\text{m}$ ) l'une de l'autre, même lorsque l'épaisseur des électrodes 2 et 3 diminue au cours de l'électroérosion. Cette distance est appelée «fente d'usinage», ou «distance interélectrodes» ou «gap». Le montage de ces électrodes a été réalisé avec soin afin de garantir autant que possible leur parallélisme. Leur diamètre extérieur et intérieur est respectivement de 64 et 40 mm. Les décharges électriques éclatant entre ces électrodes 2 et 3 sont alimentées par une tension de 400 V et des impulsions rectangulaires de courant de 3 A ayant une durée de 1  $\mu\text{s}$ .

Les dispersions de particules conductrices sont injectées entre les électrodes 2 et 3 grâce à un réseau 4 de tubes capillaires reliés aux réservoirs contenant les dispersions que l'on désire tester. Cette injection est réalisée à la vitesse de 1 ml/mm environ. Chaque série de mesures du délai moyen d'amorçage est réalisée pour environ 10 000 décharges, à l'aide d'un circuit de mesures et de calcul de type connu, non représenté à la figure 1. Un orifice relié à un dispositif approprié (non représenté) permet de vider et de nettoyer la cellule entre deux séries de mesures faisant intervenir des liquides différents.

L'importance des caractéristiques d'amorçage dans le choix d'un liquide d'usinage peut s'expliquer comme suit: comme schématisé à la figure 2, on distingue deux phases au cours d'une impulsion d'usinage,

— la phase d'amorçage, au cours de laquelle une différence de potentiel de niveau donné est établie et appliquée entre les deux électrodes pendant le temps  $t_a$ , la décharge n'ayant pas encore éclaté, et — la phase de décharge au cours de laquelle la décharge éclate et provoque l'érosion des électrodes pendant le temps  $t_d$ . Deux impulsions successives sont séparées par le temps  $t_0$ .

Or, les caractéristiques de la phase d'amorçage sont fortement influencées par les propriétés diélectriques du fluide d'usinage. Il est souhaitable, pour des raisons évidentes, d'abaisser la tension minimum capable de permettre l'éclatement d'une décharge entre les électrodes et de maintenir le délai d'amorçage (ou le temps d'attente)  $t_a$  aussi court que possible afin de limiter les temps morts pendant lesquels il n'y a pas de décharge, donc pas d'érosion. Or,  $t_a$  variant exponentiellement avec la distance interélectrodes, on ne peut trop augmenter cette dernière sans risquer d'augmenter  $t_a$  de façon inacceptable. Il importe donc de choisir judicieusement le fluide d'usinage afin de pouvoir usiner avec une distance interélectrodes suffisante tout en maintenant un délai d'amorçage aussi court que possible.

Des mesures du temps d'attente (ou délai d'amorçage)  $t_a$  ont été réalisées dans la cellule schématisée à la figure 1 avec

- une dispersion de lamelles d'aluminium (dispersion A), et
- une dispersion de grains d'aluminium non lamellaires (dispersion B).

La concentration en grains d'aluminium est la même dans les deux cas:  $10^{-4}$  en volume, ainsi que le diamètre moyen de ces grains: environ 6 microns.

Comme visualisé sur la figure 3, les temps d'attente sont beaucoup plus courts dans le cas de la dispersion A que dans le cas de la

dispersion B. En ordonnée ont été portées les valeurs de l'exposant  $t$  obtenu à partir d'une grandeur statistique moyenne  $\bar{t}$ , du temps d'attente, correspondant à environ 30 décharges successives, d'après la formule  $\bar{t} = 10 \mu s$ .

On obtient une valeur de  $\bar{t}$ , d'environ 16  $\mu s$  pour la dispersion A selon l'invention, tandis qu'elle atteint 1000  $\mu s$  environ pour la dispersion B de particules non lamellaires.

Les liquides d'usinage de la présente invention présentent les mêmes avantages, mais dans une mesure encore plus importante, que les diélectriques décrits dans le brevet suisse 627 393, à savoir la possibilité d'usiner avec une distance interélectrodes encore plus grande tout en conservant un délai d'amorçage suffisamment court, et sans la contrainte de limiter le débit du liquide d'usinage afin de maintenir une certaine concentration en particules conductrices, ces dernières étant introduites volontairement dans le fluide d'usinage.

Ils permettent d'améliorer encore davantage la stabilité de l'usinage, d'abord:

- grâce à une meilleure circulation du liquide (par suite de la disparition des contraintes relatives à la distance interélectrodes et à la vitesse de renouvellement du fluide d'usinage), ce qui permet de mieux pallier les modifications du régime d'usinage provoquées par la décomposition de ce liquide et par les variations de concentration de ses divers constituants, en activant son homogénéisation et son renouvellement,
- grâce à la diminution du risque de court-circuit par suite de l'augmentation de la distance interélectrodes,
- grâce aussi à une distribution plus uniforme des décharges, ce qui conduit, en particulier, à de meilleures qualités de surface.

Ils permettent ainsi d'augmenter encore davantage la vitesse et le rendement de l'usinage, en particulier grâce à des délais d'amorçage  $t$  encore plus courts qu'avec les liquides décrits dans le brevet suisse 627 393.

Ils présentent également des avantages supplémentaires par rapport aux liquides d'usinage décrits dans le brevet mentionné ci-dessus.

En particulier, contrairement aux liquides connus, le régime des décharges présente une bonne stabilité; cela améliore encore celle de l'usinage, comme cela apparaît sur la figure 3 où les oscillations de la valeur de  $\bar{t}$  au cours du temps sont beaucoup plus faibles (entre 8 et 20  $\mu s$  environ) dans le cas de la dispersion A que dans celui de la dispersion B (entre environ 130 et 4000  $\mu s$ ).

Par ailleurs, une seconde série de mesures de la moyenne  $\bar{t}$  statistique du délai d'amorçage a été réalisée à partir de dispersions de particules de cuivre lamellaires (dispersion C) et non lamellaire (dispersion D), toujours dans le liquide BP 180. Les dispersions C et D présentent une même concentration en particules de cuivre:  $10^{-4}$  en volume. Ces mesures ont été faites en faisant varier le champ électrique E appliqué entre les électrodes.

Dans le cas de la dispersion C, la relation liant (à une concentration en particules conductrices donnée) le logarithme de  $\bar{t}$  au logarithme du champ E est reproductible d'une mesure à l'autre. Signons que E est proportionnel à l'inverse de la distance interélectrodes  $g$ :  $E = U_i/g$ ,  $U_i$  étant la différence de potentiel appliquée entre les électrodes.

Les valeurs de  $\log \bar{t}$  obtenues pour des distances  $g$  successives, cela pour une même tension  $U_i$ , ont tendance à se placer sur une même droite, comme montré à la figure 4. Cela n'est pas le cas pour les mesures effectuées avec la dispersion D, où on obtient un «nuage» de points et non une droite.

Ainsi, grâce aux dispersions lamellaires de la présente invention, il est possible de déterminer la valeur de la distance interélectrodes  $g$  en mesurant la valeur moyenne statistique  $\bar{t}$  à concentration en particules conductrices constante et en travaillant avec la même tension interélectrodes. Cela n'était pas possible avec les dispersions connues, car la pente de la droite représentant les variations de  $\log \bar{t}$  en fonction de  $1/g$  variait d'une mesure à l'autre, alors qu'elle reste sensiblement constante avec les dispersions selon la présente invention.

De plus, grâce à la cellule décrite en référence à la figure 1 et à des courbes d'étalonnage donnant la variation de  $\log \bar{t}$  en fonction de  $1/g$  pour des concentrations données en particules conductrices, il est possible de suivre l'évolution de cette concentration et donc de l'asservir à un ou plusieurs paramètres d'usinage, en effectuant des déterminations successives de  $\bar{t}$  pour une distance interélectrodes  $g$  connue.

Enfin, afin d'éviter des concentrations locales de décharges qui pourraient conduire à un arc, il est important d'avoir une distribution aussi homogène que possible des particules conductrices dans le liquide d'usinage. Cela semble réalisé avec les dispersions de la présente invention qui ne présentent aucune sédimentation lors d'un cycle complet d'usinage.

Cette stabilité de la dispersion contribue également à la stabilité de l'usinage.

La figure 5 schématise un dispositif intégré à une machine d'usinage par électroérosion permettant de régler et de suivre l'évolution de la concentration en particules conductrices d'un liquide d'usinage selon la présente invention, par exemple en mesurant des temps d'attente successifs, et de l'asservir à au moins un paramètre d'usinage en ajustant cette concentration au cours de l'usinage par une addition appropriée de lamelles conductrices ou semi-conductrices.

La pièce-électrode 11 à usiner et l'électrode-outil 12 sont immergés dans un liquide d'usinage 13 retenu dans un bac 14 et disposés à distance  $g$  l'un de l'autre. Un circuit électrique (de type connu, non représenté) est connecté à ces électrodes 11 et 12 et leur fournit les impulsions nécessaires à l'éclatement des décharges électriques érosives à travers le liquide 13 baignant la fente d'usinage 15. L'électrode-outil 12 peut être un outil d'enfonçage dont la lente pénétration dans la pièce est programmée afin que la fente 15 présente une profondeur  $g$  déterminée au fur et à mesure de la progression de l'érosion. Cette profondeur  $g$  peut être variable ou constante. L'électrode-outil 12 peut aussi être un fil-électrode défilant à travers un orifice traversant la pièce 11 de part en part et la découplant selon une trajectoire pré-déterminée au fur et à mesure de la progression de l'érosion. Le bac 14, aux parois duquel est fixée la pièce 11 grâce à un dispositif de type connu (non représenté), est fixé sur une table à mouvements croisés (non représentée), permettant le mouvement relatif entre la pièce 11 et l'outil 12 selon deux axes perpendiculaires  $x$  et  $y$  situés dans un plan en général horizontal. D'autres types de mouvements (vertical, rotatif, etc.) relatifs entre la pièce 11 et l'électrode 12 peuvent être imprimés à cette dernière grâce à des dispositifs connus placés dans les têtes de guidage, dans le cas d'un fil-électrode, ou dans la tête de fixation, dans le cas d'une électrode d'enfonçage. Rappelons que l'électrode-outil 12 se déplace en général selon un axe  $z$  perpendiculaire au plan défini par les axes  $x$  et  $y$ , au fur et à mesure de la progression de l'électroérosion. Ces différents dispositifs: table à mouvements croisés, etc., sont de type connu et ne sont pas représentés sur la figure 5.

Le liquide d'usinage 13 peut être injecté dans la fente 15 grâce à au moins une buse d'injection reliée par une conduite 16 au circuit d'alimentation. Dans le cas d'une électrode d'enfonçage, il peut être injecté également par une canalisation ménagée dans l'électrode elle-même et reliée au circuit d'alimentation. Le liquide amené par cette conduite ou canalisation 16 a été obtenu en mélangeant, sous agitation mécanique ou ultrasonique, dans un récipient 17, un liquide diélectrique à une dispersion concentrée de lamelles conductrices ou semi-conductrices, éventuellement enveloppées d'un liant tensioactif, réalisée dans ce même liquide. Le liquide diélectrique provient d'un réservoir 18 dans lequel il est stocké après avoir été prélevé dans le bac 14 puis nettoyé et régénéré par un passage à travers un système 30 comportant des décanteurs, filtres, résines échangeuses d'ions, etc. La dispersion concentrée est prélevée hors d'un réservoir 19 par tout moyen de pompage de type connu, à raison d'une quantité contrôlée par un système de dosage 20 commandé par un signal émis par le circuit de contrôle 23.

Des dispositifs de mesure 21 et 22 de la concentration en particules, connectés entre autres à ce circuit 23, sont disposés respective-

ment en aval de la fente d'usinage et à la sortie du récipient 17. Les mesures sont réalisées optiquement ou électriquement de manière connue, ou par une cellule mesurant le temps d'attente, comme celle décrite dans le brevet suisse 632 340, ou encore par un dispositif mesurant le taux d'étincelles de bas niveau tel que celui décrit dans la demande européenne 281 512. Dans une variante, le dispositif 21 peut être remplacé par un dispositif effectuant des mesures directement dans la fente d'usinage. Ainsi, un circuit connecté à l'électrode-outil 12, réalisé par exemple comme décrit dans le brevet US 3 825 714, permet de mesurer le temps d'attente  $t_s$  pour chaque décharge et de calculer une valeur statistique moyenne représentative. Il permet en particulier de détecter respectivement l'instant où on commence à appliquer la tension d'amorçage et l'instant où commence la décharge.

Ces dispositifs 21 et 22 élaborent des signaux électriques, les comparent à une valeur de référence et permettent la commande du système de dosage 20 grâce au circuit logique de contrôle 23. On peut ainsi réguler la concentration des particules conductrices dispersées dans le liquide 13 en l'asservissant à au moins un paramètre d'usinage dont les variations sont communiquées à ce circuit 23.

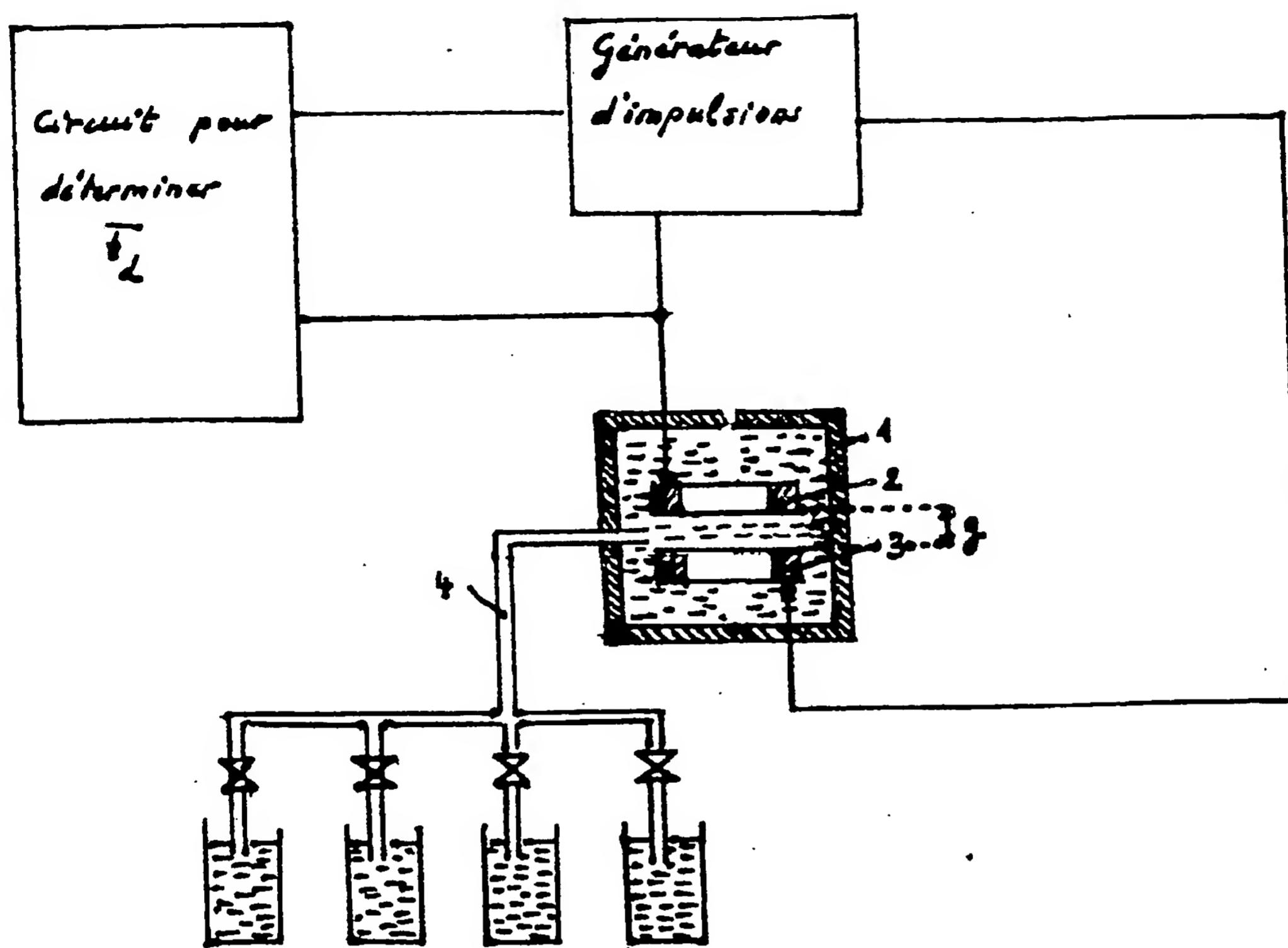
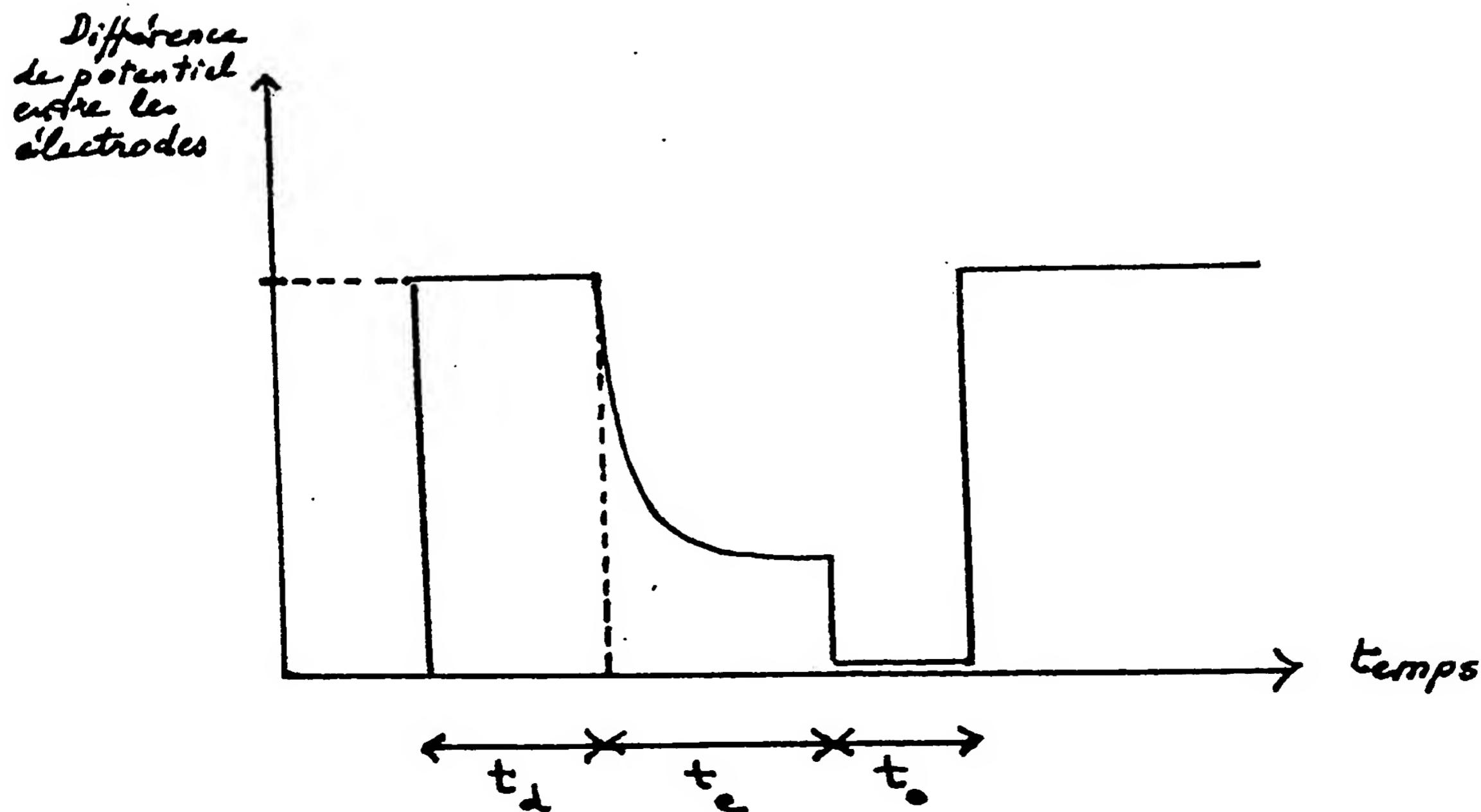
La distance  $g$  d'étincelage est maintenue constante grâce à un

servomoteur muni d'un dispositif de réglage tel que celui décrit, par exemple, dans le brevet US 4 049 942, tous deux non représentés à la figure 5.

Dès que la concentration mesurée par le dispositif 21 s'écarte d'une valeur de référence préprogrammée, fonction d'au moins un paramètre auquel cette concentration est asservie, le circuit de contrôle 23 actionne le système de dosage 20 jusqu'à ce que la concentration mesurée par le dispositif 22 atteigne cette valeur de référence. On peut ainsi faire évoluer de façon prédéterminée la composition du liquide d'usinage (et le délai moyen d'amorçage) au cours de l'usinage.

Un tel dispositif permet de maintenir la stabilité des conditions d'usinage et de réguler ces dernières de façon à usiner à la vitesse optimum tout en assurant la qualité des surfaces usinées.

Il est bien entendu que les exemples ci-dessus ne présentent aucun caractère limitatif et sont donnés uniquement à titre d'illustration. De nombreuses modifications peuvent être réalisées, en particulier en ce qui concerne les divers ingrédients composant ces dispersions, leurs proportions, les modes de préparation de ces dispersions et les conditions de leur utilisation en électroérosion, sans sortir du domaine de la présente invention.

Fig. 1Fig. 2

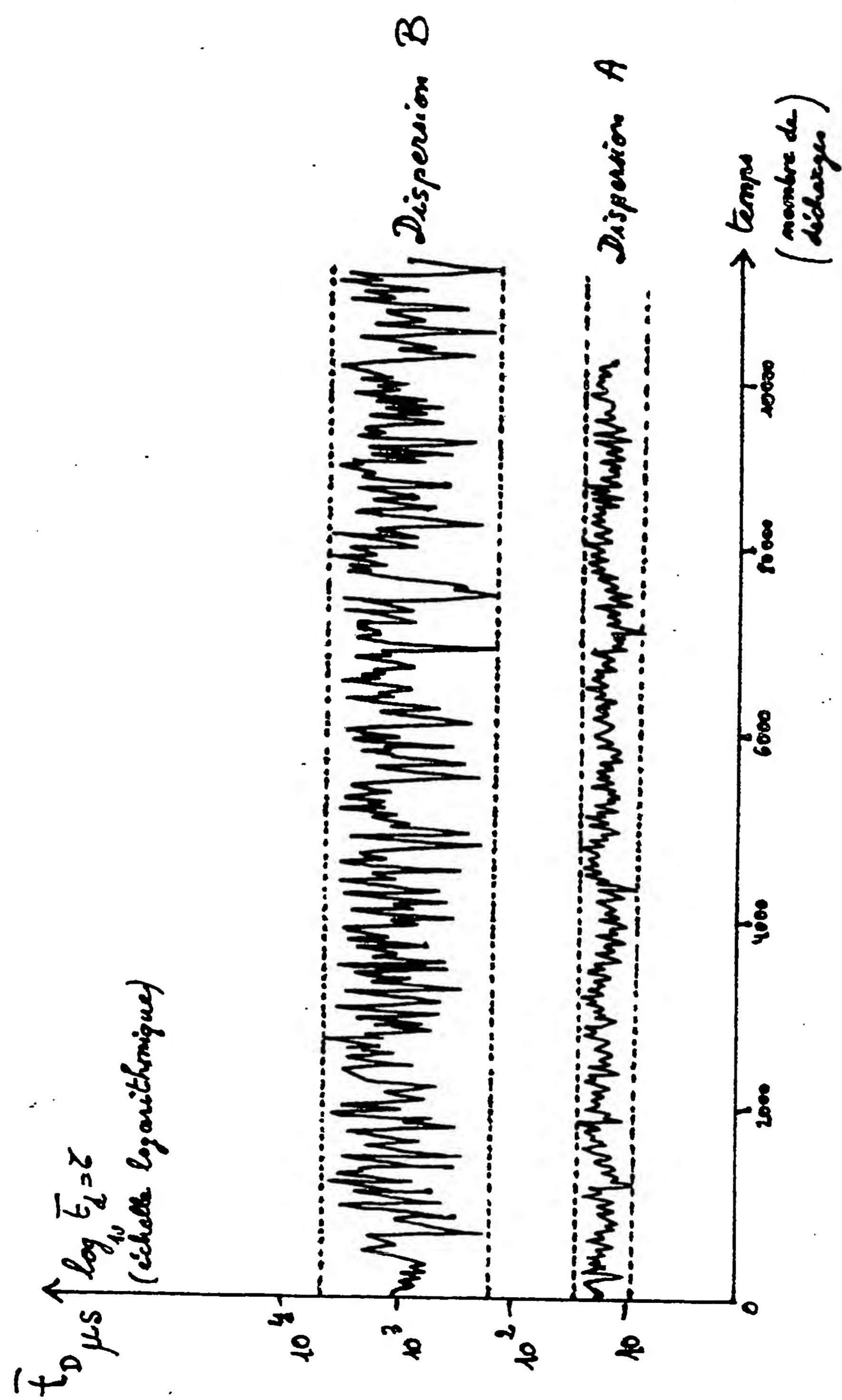


Fig. 3

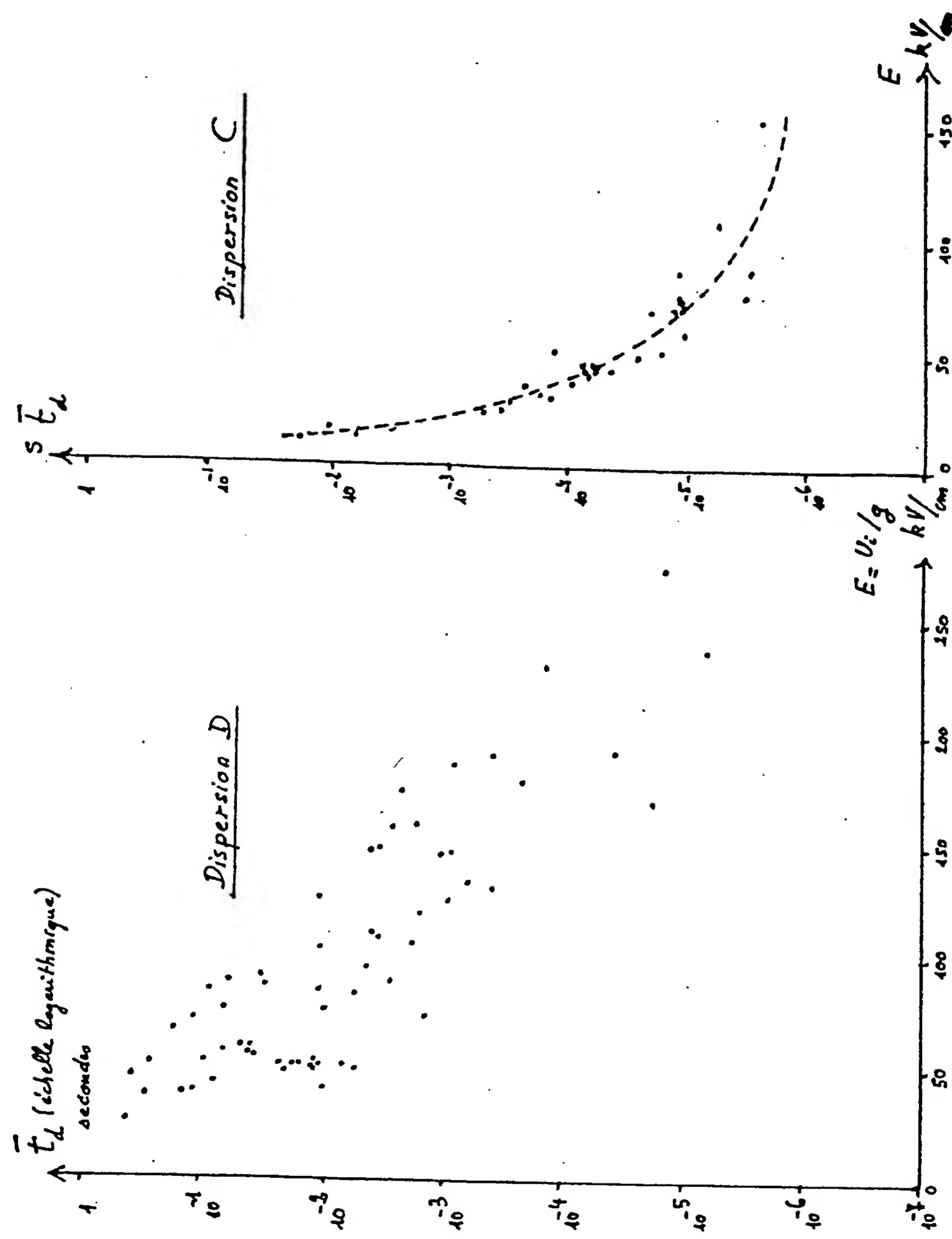


Fig. 4

